

車両技術に関する最近の研究開発

車両構造技術研究部

部長 早勢 剛

1. はじめに

平成27年度、鉄道総研では300件程度の研究開発テーマを実施している。これらのうち、車両に関するものは概ね50件あり、列車の速達化や車内快適性の向上に資する実用的な課題から、車輪／レールの接触問題のような基礎研究課題が幅広く含まれている。

ここでは、車両構造技術研究部が昨年度まで実施した研究開発テーマで得られた成果の中から、「脱線しにくい台車」、「踏切衝突事故における乗客被害を軽減する車体の安全性評価手法」、「小型で低コストな車体傾斜車両用空気圧式センタリングシリンダー」について紹介する。

2. 脱線しにくい台車

本件は、前基本計画の中で昨年度まで取り組んだ「鉄道の将来に向けた研究開発」の個別課題「脱線・衝突に対する安全性向上」で得られた成果である。車両がカントのある急曲線を低速で走行する場合には、輪軸がアタック角（車輪の進行方向とレールがなす角度）を持つため比較的大きな横圧が発生すると共に、カント超過で外軌側の輪重が定常的に減少する。さらに、カント逡減のため構造的に軌道がねじれる出口側緩和曲線に進入すると、先頭軸外軌側の輪重がさらに減少し、乗り上がり脱線に対するリスクが高まる。

そこで、軌道平面性に追従するよう台車枠が変形して輪重減少を軽減する機構と、輪軸を操舵してアタック角を抑え横圧を低減する機構を有する、脱線しにくい台車構造を開発した。

2.1 輪重減少抑制機構

輪重減少抑制機構を有する台車枠の構成を図1に示す。一般的な溶接構造と異なり、側ばりが横ばりに対して回転して軌道のねじれに追従する。側ばりを支える軸受部には、以下の各項目が求められる。

- ①軌道平面性にスムーズに追従するよう回転抵抗を抑える
- ②蛇行動安定性を確保するため、回転以外の自由度を拘束する
- ③まくらばねの偏荷重による曲げモーメントに耐える
- ④走行振動などによる変動荷重に耐える
- ⑤全般検査周期程度の耐久性を有する

そこで、固体潤滑剤分散型複層型すべり軸受を側ばりに圧入し、横ばりの両側に設けた回転軸をこれに挿入する構造とした。最大回転角は $\pm 2\text{deg}$ である。横ばりの端面と側ばり側面を接触、摺動させることで台車枠の菱形変形を抑え、安定性を確保した。また、車体牽引力による横ばりのピッチングを抑えるため、zリンクを上下二段に配置した特殊な牽引装置を採用している。

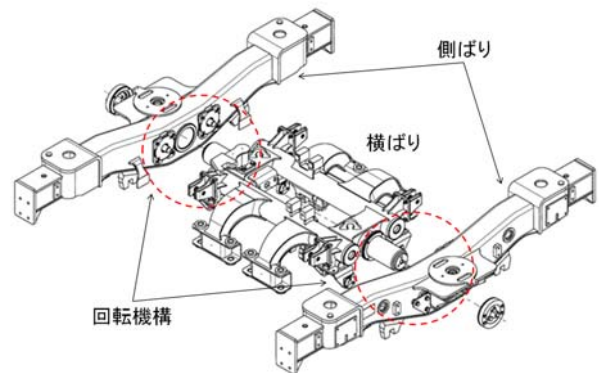


図1 輪重減少抑制機構

2.2 空気圧制御操舵機構

既に実用化されているボギー角連動操舵台車は優れた横圧低減効果が得られるものの、複雑なリンク機構を有し、イニシャルコストやランニングコストが高く普及が進んでいない。そこで、低コストの空気圧制御操舵機構を開発した。これは、新開発の小型空気圧アクチュエータを軸箱～台車枠間に配置し、輪軸の自己操舵性を補助（アシスト）するものである。

操舵アクチュエータには図2のタンデムシリンダを採用した。台車旋回角（ボギー角）に応じ、シリンダの空気圧を制御して操舵力を発生させる。本システムはボギー角検出機構、空気圧制御バルブ、操舵アクチュエータから成り、誤動作による逆操舵の可能性が低い純機械的なシステムである。

図3の通り、操舵アクチュエータは軸箱～台車枠間に取り付け、軸距を伸ばす方向にのみ動作する。モノリンク式軸箱支持装置のリンクに換えて装架することを想定している。

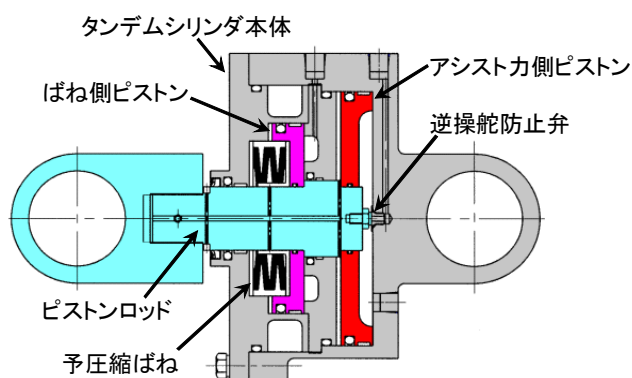


図2 タンデムシリンダの構造

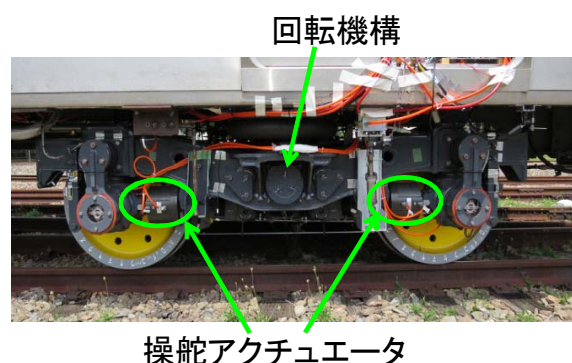


図3 操舵機構を付加した輪重減少抑制台車

2.3 構内走行試験

平成26年度に、輪重減少抑制機構と空気圧制御操舵機構を導入した試作台車（図3）の構内走行試験を実施した。半径160mの曲線（カント90mm、逓減倍率400倍）を15km/hで走行した場合の脱線係数最大値を図4に示す。円曲線および入・出口側緩和曲線における最大値を回転機構抑止、輪重減少抑制、輪重減少抑制+空気圧制御操舵で比較した。円曲線と出口側緩和曲線はそれぞれの導入効果が明確である。特に、出口側緩和曲線では、両機構の導入によって脱線係数が半分程度に減少している。

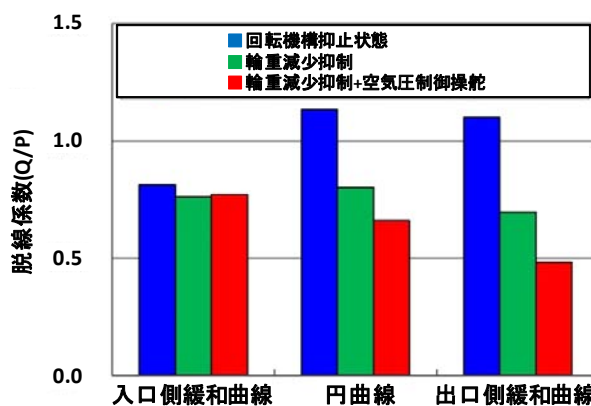


図4 輪重減少抑制機構と操舵機構の導入効果

3. 踏切衝突事故における乗客被害を軽減する車体の安全性評価手法

車両構造技術研究部では、列車衝突時の被害軽減に向けて、様々なシナリオ毎に車体の挙動や損傷を精度良く解析する手法を開発してきた。本件ではこれらを活用し、衝撃加速度解析波形に基づき、乗客被害を軽減する観点から車体の安全性を評価する手法を検討した。

本件も、個別課題「脱線・衝突に対する安全性向上」の成果である。

3.1 列車衝突解析

まず、踏切に立ち往生したダンプカー（質量11 t + 土砂11 t 積載）に車両（質量31 t）が衝突する場合の応答解析を行った。衝突速度（30～130km/h）をパラメータとし、ダンプカーの荷台中央に角度90°で車体中心が衝突する想定で両者の接触荷重や、前・後位まくらばり中央と客室中心における車体床面の衝撃加速度波形を求めた。

図5は54km/hで衝突した後250ms経過した際の状況である。車体先頭部の変形や土砂の飛散が見られる一方、客室に顕著な変形は認められず、車体衝撃加速度の最大値は7～11 gだった。

3.2 着座乗客の被害評価手法

次に、3.1項で得た車体衝撃加速度波形を入力として乗客の挙動を解析し、その被害を定量化する手法を構築した。本件では、ロングシート着座乗客が2席分離れた位置から仕切り板に衝撃する場合と、クロスシート着座乗客が前列の座席に衝撃する場合を想定した。ロングシートでは図6(a)の汎用マルチボディーソフト（MADYMO）を用い、剛体ダミーモデル各部の傷害値を推定した。クロスシートでは汎用の有限要素解析ソフト（PAMCRASH）を用い、前列座席の変形や回転などを精緻に再現可能とした。これらの手法による傷害値の解析精度は、ダミー人形を対象物に衝撃させる図6(b)のスレッド試験で得たデータで検証している。



図5 車体の衝突解析例
(54km/h, 衝突後250ms経過)



(a) ロングシート



(b) クロスシート

図6 解析とスレッド試験による乗客の傷害度評価

3.3 衝撃加速度波形と乗客傷害値の関係

最後に、乗客の被害（各部の傷害値）を軽減するための車体安全性評価法について述べる。

列車衝突解析で得られる車体各部の衝撃加速度波形（3.1項）を入力として、乗車姿勢や想定される衝撃対象物の特性を考慮したモデルによる乗客被害評価手法（3.2項）を用い人体各部の傷害値を推定した。その結果、衝撃加速度最大値と傷害値の間には、必ずしも相関が無いことが確認された。一方、列車衝突時刻から人体の特定部位が対象物に衝撃するまでの間、車体衝撃加速度波形を時間積分した値と、当該部位の傷害値の間には図7のような相関がある。ロングシートの着座乗客が仕切り板に衝撃するこのケースで頭部傷害値を重傷の限度値以下に抑えるためには、加速度積分値を5 m/s程度以下にする必要があることが分かる。

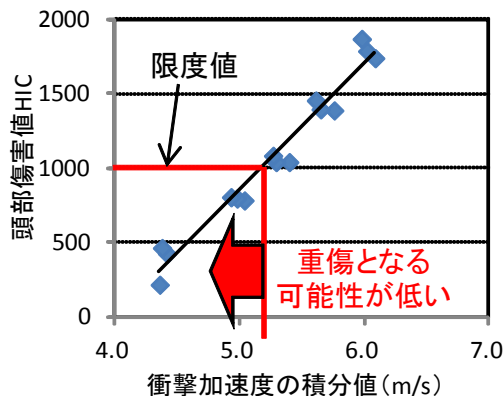


図7 加速度積分値と傷害値の相関
(ロングシート着座乗客が仕切り板に衝撃)

このように、シナリオ毎に得られる衝撃加速度波形の積分値を指標として、乗客被害を軽減する観点で車体の安全性を評価できる可能性が見出された。今後、様々なシナリオや乗車姿勢について本手法の深度化を図る。

4. 小型で低コストな車体傾斜車両用空気圧式センタリングシリンダー

本件については、今年度も引き続き実用化に向けた研究開発を行っている。

4.1 開発の概要

近年、曲線の乗り心地向上策として、特別な台車構造を必要としない空気ばね車体傾斜方式を採用する例が増えている。しかし、同方式は振子式に比べて曲線走行時の車体横移動量が大きく、左右動ストッパー当たりによる乗り心地低下が課題になる。このため、車体の横移動を抑制するセンタリングシリンダー（図1）を開発した。図2のように、このシリンダーは車体～台車間に左右動ダンパと並列に装架する。空気圧により変位に応じた復元力が生じ、車体の横移動を抑制して左右動ストッパー当たりを軽減する。シリンダーへ圧縮空気を供給する制御機構は機械式でピストンロッドに内蔵されており、電源を要する制御装置やセンサーなどは必要とせず、小型で低コストなシステムを実現している。

4.2 適用効果

在来線特急電車で本シリンダの適用効果を確認した。半径300m、カント105mmの曲線を85km/hで通過した際の車体左右振動加速度波形を、本シリンダーの有無で比較した結果を図3に示す。円曲線を中心に、左右動ストッパー当たりで生じる2Hz程度の振動加速度の振幅が低減された。こうした効果により、曲線連続区間の左右乗り心地レベル（LT値）を2～4dB低減できる。

今後、空気ばね車体傾斜車両に限らず、曲線通過時の左右動ストッパー当たりが課題となっている車両に本シリンダーを提案していく。



図1 センタリングシリンダー（取付長430mm）



図2 センタリングシリンダー装架状況

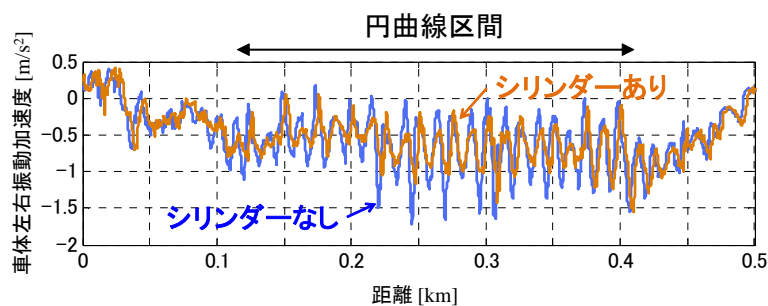


図3 センタリングシリンダーの車体振動加速度低減効果
（半径300m、カント105mm、速度85km/h）

5. まとめ

車両構造技術研究部の最近の成果から、代表的なものを紹介した。走行安全性、衝突安全性、車内快適性の向上については、引き続き重点的に取り組んで行く。その他、鉄道固有現象の解明、非破壊検査精度の向上、メンテナンスの省力化など関わる研究開発テーマを推進していく。